다수의 냉각탑이 설치된 옥상에서 냉각탑별 재유입률 예측

이 태 구†, 문 선 애, 유 호 선*, 이 재 헌**
한양대학교 대학원 기계공학과, *숭실대학교 기계공학과, **한양대학교 공과대학 기계공학부

Prediction of Reentering Ratio of Individual Cooling Towers Scattered on a Building Roof

Tae-Gu Lee†, Sun-Ae Moon, Hoseon Yoo*, Jae-Heon Lee**
Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
**Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, Seoul 156-743, Korea*
***Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

(Received September 7, 2006; revision received October 2, 2006)

ABSTRACT: In this paper, reentering ratio and cooling capacity of individual cooling towers arrayed on a building roof were studied by a numerical method. The number of 16 cooling towers were divided into 4 banks. It was considered the summer prevailing wind characteristics as west wind and south wind of 5 m/s. It was also considered the roofwall types as the curtainwall and the louverwall that had the outdoor air intake louver in the curtainwall. In this case, the louver was suggested as the solution that could prevent reentering phenomenon due to recirculation and interference of the discharge air. In the case of the curtainwall, the averaged reentering ratio are predicted 13.3% and 24.4% for the west and south wind of 5 m/s, respectively. In the case of the louverwall, the averaged reentering ratio are predicted 2.5% and 9.7% for the west and south wind of 5 m/s, respectively. Therefore, the louverwall is a appropriate solution for reducing the reentering phenomenon.

Key words: Cooling tower(냉각탑), Recirculation(재순환), Interference(간섭), Reentering rate (재유입률)

기 호 설 명

A : 충전재 단위체적당 접촉면적 [m^2/m^3]
C_μ, $C_{1\epsilon}$: 난류상수
$C_{2\epsilon}$, $C_{3\epsilon}$: 난류상수
G : 공기유량 [kg/s]
g : 중력가속도 [m/s^2]
G_b : 부력에 의한 난류생성항 [$kg/(m\cdot s^3)$]
G_k : 유동에 의한 난류생성항 [$kg/(m\cdot s^3)$]
k : 난류운동에너지 [m^2/s^2]
L : 냉각수 질량유량 [kg/s]
NU : 냉각탑수 [-]
p : 압력 [Pa]
q : 단위면적당 열유속 [W/m^2]
R : 재유입률 [%]
$\overline{R}$: 냉각탑열별 평균 재유입률 [%]
$\tilde{R}$: 냉각탑 총 평균 재유입률 [%]
T : 온도 [℃]

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2220-0425; fax: +82-2-2293-5169
E-mail address: mybluetear@freechal.com

u, v, w : x, y, z 방향 공기속도 [m/s]
V : 충전재부피 [m^3]
X, Y, Z : 절대좌표계

그리스 문자

β : 체적팽창계수 [K^{-1}]
ϵ : 난류운동에너지 소산율 [m^2/s^3]
μ_l : 층류점성계수 [kg/(m·s)]
μ_t : 난류점성계수 [kg/(m·s)]
ρ : 공기밀도 [kg/m^3]
$\sigma_k, \sigma_\epsilon$: 난류상수 [-]
σ_l : 층류 Prandtl 상수 [-]
σ_t : 난류 Prandtl 상수 [-]

하첨자

a : 유입공기
i, j : 텐서성분
in : 입구
o : 외부공기, 옥상기류
out : 출구
w : 냉각수

1. 서 론

냉각탑은 산업체 및 대형건물 등에서 산업기기 및 냉동공조설비의 열방출용 설비로서 사용되고 있으며 일반적으로 고열원의 열부하를 대기로 방출하는 최종 장치로서 냉각탑에서의 효율적인 열교환은 전체시스템의 성능을 좌우하게 된다.[1]

최근에는 냉각탑이 주로 설치되는 건물옥상에 헬리포트나 엘리베이터실 등을 설치하여 냉각탑 설치면적이 감소되는 경향이 증가하고 있다. 또한 시조례로 도심지 건물의 외관을 해치는 기계장치물들이 외부에서 보이지 않도록 규제를 하면서 냉각탑 주변에 차단벽을 설치하거나 외벽을 높게 설치하는 사례도 증가하고 있다.[2] 이에 다수의 냉각탑이 건물옥상에 설치될 경우 냉각탑이 근접 설치되어 토출공기가 상호영향을 주거나 냉각탑으로의 원활한 외기유입이 어려워진다. 이러한 공기유동의 장애는 냉각탑에서 토출된 공기가 재유입되는 현상을 초래하여 냉각성능을 저하시킨다.

이렇듯 재유입현상이 냉각탑의 냉각성능을 저하시키는 중요한 요소임에도 불구하고 국내에서는 그 연구가 활발히 진행되고 있지는 못하다. 국내의 경우 Kim et al.[3]은 건식 열교환기를 이용한 백연방지 냉각탑 내의 유동 및 온도장을 수치해석하여 냉각성능을 평가하였다. Lee et al.[4]은 충전재 형상에 따른 냉각탑 성능비교에 관한 연구를 수행하였고, Lee et al.[5]은 냉각탑 열성능 특성의 실험적 연구 등을 수행하였다. 이와 같이 선행된 국내연구는 대부분 단일 냉각탑 내의 유동과 열 및 물질전달에 관한 수치해석 또는 실험을 통해 냉각탑의 성능해석에 중점을 두거나 냉각성능 인자에 대한 파라미터 연구에 중점을 두고 있어 재유입현상의 특성연구는 이루어지지 않고 있다. 국외의 경우 Chan et al.[6]은 강제통풍식 냉각탑에서의 토출공기 재유입특성을 1/150 스케일 모델 실험을 통해 속도에 따른 재유입률을 연구하였다. Moore et al.[7]은 3곳의 각형 향류냉각탑이 설치된 현장실험을 통해 재순환에 의한 유입습구온도 상승과 냉각성능 감소율을 연구하였다. 또한 Cooper[8]는 유체의 유동방향과 냉각탑 형상에 따른 재유입률과의 관계를 연구하였다. 이와 같이 국외의 연구는 재유입현상에 대한 연구는 수행되었으나 단일 냉각탑의 재유입 특성에 관한 파라미터 연구로 국한되어 있다.

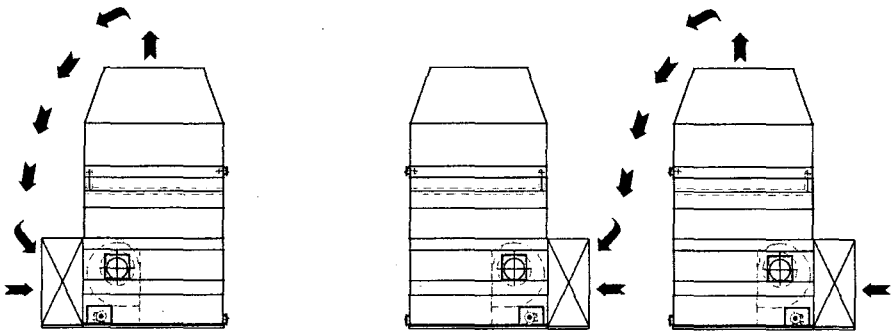
따라서 실제 현장에 복수 또는 다수로 열을 이뤄 설치되는 냉각탑의 배치현황과 건축구조물 등의 주변상황이 고려된 냉각탑 공기유동에 대한 연구가 필요하다. 특히 주변여건에 따라 크게 영향을 받는 냉각탑 토출공기 재유입현상의 특성에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 서울시 K구에 건축예정인 건물옥상에 설치될 다수의 냉각탑을 연구모델로 선정하여 외기풍향에 따른 재유입률 및 루버벽 설치유무에 의한 재유입률을 이론적인 방법으로 예측하였다.

2. 냉각탑의 재유입현상 및 재유입률

2.1 재유입현상

냉각탑은 냉동기, 열기관, 발전기 및 화학 플랜트 등으로부터 발생하는 온수를 주위의 공기와 접촉시켜 물을 냉각시키는 장치이다. 냉각탑의 냉각



(a) Recirculation (b) Interference

Fig. 1 Two paths of reentering of discharge air.

원리는 공기와 물의 온도차에 의한 현열냉각과 순환수의 증발에 의한 잠열냉각으로 이루어진다. 따라서 냉각탑 설계시 냉각탑으로 유입되는 외기의 습구온도가 냉각성능을 크게 좌우하며 이를 기준으로 냉각성능을 결정하게 된다. 그러나 냉각탑에서 열교환된 고온다습의 토출공기가 재유입될 경우 냉각성능을 크게 저하시키게 된다. 냉각탑 토출공기가 재유입되는 현상을 크게 두 가지로 구분하여 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)의 경우 냉각탑 토출공기가 동일 냉각탑으로 재순환(Recirculation)되는 현상이며, Fig. 1(b)의 경우는 냉각탑 토출공기가 냉각탑간의 간섭(Interference)에 의해 타 냉각탑으로 재유입되는 현상이다.

이러한 재유입현상이 발생하면 토출공기가 유입공기에 혼합되므로 유입공기의 건구온도 및 절대습도가 재유입현상이 발생하지 않은 경우보다 상승한다. 이로 인해 유입공기 엔탈피가 상승하여 냉각수를 충분히 냉각시키지 못하므로 냉각수 출구수온이 상승하고 레인지가 감소하여 냉각성능이 저하된다.

2.2 재유입률

냉각탑 토출공기의 재유입률(Reentering ratio, R)을 정의하고, 그 개략도를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 재유입률은 냉각탑 유입면으로 재유입되는 토출공기 유량과 총 유입공기 유량의 비로 정의되며 다음과 같다.

$$R = \frac{G_r}{G_a} \times 100 \tag{1}$$

여기서 G_r 및 G_a는 각각 재유입 토출공기 유량 및 총 유입공기 유량이다. 또한 냉각탑 유입면으로 유입되는 수증기량은 외부공기에 포함되어 있는 수증기량과 재유입되는 토출공기에 포함되어 있는 수증기량의 합으로 표현되며 다음과 같다.

$$G_a x_{a,in} = G_o x_o + G_r x_{a,out} \tag{2}$$

여기서 $x_{a,in}$, x_o, 및 $x_{a,out}$는 각각 유입면에서의 유입공기 절대습도, 외부공기 절대습도 및 토출공기 절대습도이다. 유입되는 외부공기 유량 G_o는 총 유입공기 유량에서 재유입 토출공기 유량을 뺀 값으로 다음과 같다.

$$G_o = G_a - G_r \tag{3}$$

따라서 식(3)를 식(2)에 대입하고 정리하면 G_r은 다음과 같다.

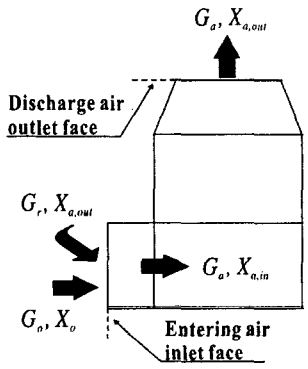


Fig. 2 Schematics of the reentering ratio.

$$G_r = \frac{(x_{a,in} - x_{a,out})G_a}{x_{a,out} - x_o} \quad (4)$$

식(4)에서 도출된 G_r을 식(1)에 대입하면 재유입률 R는 다음과 같이 정의되어 재유입률을 절대습도차의 비로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{(x_{a,in} - x_o)}{(x_{a,out} - x_o)} \times 100 \quad (5)$$

또한 다수의 냉각탑이 열(Bank)을 이뤄 배치되는 경우 냉각탑열별 평균 재유입률 $\overline{R}$는 다음과 같이 정의된다.

$$\overline{R} = \sum_{ct=1}^{NU_b} R_{ct} / NU_b \quad (6)$$

여기서 R_{ct} 및 NU_b는 냉각탑별 재유입률 및 열별 냉각탑수이다. 그리고 하첨자 ct 및 b는 냉각탑번호 및 냉각탑열을 나타낸다. 이때 냉각탑 총 평균 재유입률 $\tilde{R}$은 아래 식으로 정의된다.

$$\tilde{R} = \sum_{ct=1}^{NU_t} R_{ct} / NU_t \quad (7)$$

여기서 NU_t는 총 냉각탑수이다.

3. 연구모델

3.1 냉각탑 설계제원양 및 배치방법

본 연구에서는 서울시 K구에 지상으로부터 150 m 높이에 건축예정인 길이 59.2 m 및 폭 26.3 m의 규모를 갖는 건물옥상에 설치될 총 16대의 냉각탑을 연구모델로 선정하였다. 냉각탑의 설계제원은 모두 동일하며 Table 1에 나타내었다. 설계제원 중 유입공기 유량, 건구온도 및 절대습도는 각각 41.65 kg/s, 31℃ 및 0.0211 kg/kgDA이고 냉각수량, 냉각수 입구수온, 레인지는 각각 74 kg/s, 37℃, 5℃이다.

또한 본 연구에서는 건물옥상에 설치될 총 16대의 냉각탑을 배치위치와 유입구의 방향에 따라 크게 4개의 열로 구분하고 배치방법을 Fig. 3에 나타내었다. 옥상 남측에 배치되며 유입구의 방향이 남쪽을 향하고 있는 4대의 냉각탑을 냉각탑S열로 구분하였고, 북동측에 배치되며 유입구가 북쪽을 향하고 있는 9대의 냉각탑을 냉각탑NE열로 구분하였다. 또한 서측에 배치하며 유입구가 북쪽을 향하고 있는 1대의 냉각탑을 냉각탑W열로 구분하였고, 북서측에 배치되며 유입구가 각각 동쪽과 서쪽을 향하고 있는 2대의 냉각탑을 냉각탑NW열로 구분하였다.

Table 1 Design factors of the cooling towers for the present study

Design factors	Value	Design factors	Value	Design factors	Value
L	74 [kg/s]	G_a	51 [kg/s]	$T_{a,out}$	35.8 [℃]
$T_{w,in}$	37 [℃]	KAV/L	0.915	$x_{a,in}$	0.0211 [kg/kgDA]
$T_{w,out}$	32 [℃]	$T_{a,in}$	31 [℃]	$x_{a,out}$	0.0385 [kg/kgDA]

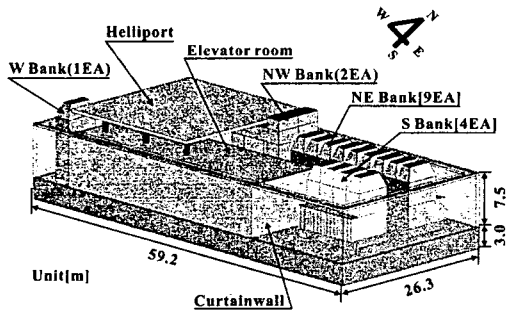


Fig. 3 Schematic of the cooling towers on the roof with the curtain wall.

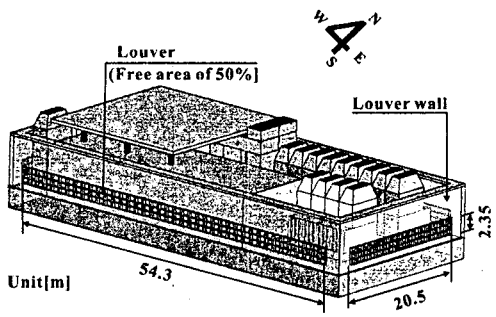


Fig. 4 Schematic of the cooling towers on the roof with the louver wall.

3.2 외벽형상

3.2.1 유리외벽

본 연구에서 고려된 건물옥상에는 냉각탑 16대 이외에도 헬리포트, 엘리베이터실 및 7.5 m 높이의 유리외벽이 Fig. 3과 같이 설치될 예정이다. 이 유리외벽은 냉각탑으로의 원할한 외기유입을 방해하여 재유입현상을 일으키는 주요 원인이 될 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 유리외벽이 설치될 옥상에 배치된 냉각탑을 이후 유리외벽 인접 냉각탑이라 명기하고 유입공기의 절대습도 및 건구온도를 이론해석을 통해 예측하여 재유입률을 예측하였다.

3.2.2 루버외벽

한편 본 연구에서는 재유입현상를 방지할 수 있는 방안으로 유리외벽에 외기도입용 루버가 설치된 루버외벽을 고려하였고, 그 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 남측 및 북측 유리외벽에 설치되는 루버는 길이 54.3 m, 높이 2.35 m이고 동측과 서측 유리외벽에 설치되는 루버는 길이 20.5 m, 높이 2.35 m이다. 따라서 루버 전체 면적은 136 m^2으로 전체 유리외벽면적 1,282 m^2의 약 30%에 해당하며 루버개구율은 50%을 적용하였다.

4. 기류 및 재유입률 해석방법

4.1 해석영역

본 연구에서는 냉각탑별 재유입률 및 냉각성능을 예측하기 위한 예측인자 유입공기 절대습도 및 건구온도를 이론해석하기 위해 해석영역을 설정하여 Fig. 5에 나타내었다. 해석영역은 여름철 주풍향인 서쪽과 남쪽으로부터 기류가 유입됨을 모사하기 위해 옥상 영역에서 각각 40 m의 영역을 크게 설정하여 길이 150 m, 폭 52 m 및 높이 50 m로 결정하였다.

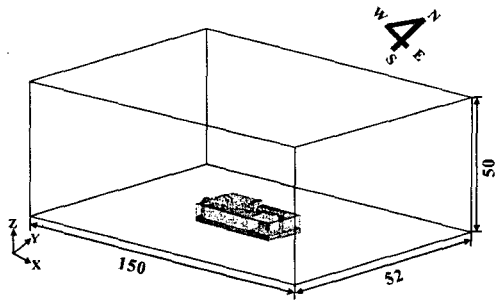


Fig. 5 Schematics of solution domain in the present study [Unit: m].

4.2 지배방정식

해석영역 내의 유동을 3차원 정상 비압축성 난류유동으로 가정하였으며 이에 관한 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지 소산율방정식, 에너지방정식 및 농도방정식을 Table 2에 나타내었다.[8] 이때 난류모델로는 부력이 고려된 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하였으며 각 식들에서의 기호 선정은 일반적인 교과서에서의 예를 따랐다.[9] 농도에 관한 보존방정식에서 Sc_t는 난류에 대한 슈미트수로서 유체 내에 물질이 이동할 때의 상태를 나타내는 무차원수이고, D_i

Table 2 Governing equations and coefficients

Continuity equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

Momentum equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left\{(\mu+\mu_t)\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\right\} + S_{u_i}$$

Turbulent kinetic energy equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left\{\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right\} + G_k - \rho\epsilon$$

Dissipation rate equation of turbulent kinetic energy;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left\{\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}\right)\frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}\right\} + G_k C_{1\epsilon}\frac{\epsilon}{k} - C_{2\epsilon}\rho\frac{\epsilon^2}{k}$$

Concentration conservation equation;

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i m) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\rho D + \frac{\mu_t}{Sc_t}\right)\frac{\partial m}{\partial x_i}\right] + S$$

where,

$$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon},\quad G_k = \mu_t\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i}+\frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right)\frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

C_μ=0.09, $C_{1\epsilon}$=1.44, $C_{2\epsilon}$=1.92

σ_k=1.0, σ_ϵ=0.9, Sc_t=0.7, D=2.88×10^{-5} m^2/s

는 수증기의 확산계수이다.

4.3 경계조건

앞에서 언급된 해석영역의 기류분포, 재유입률 및 유입습구온도를 예측하기 위한 경계조건은 해석영역의 동측면, 서측면, 남측면, 북측면, 상측면 및 하측면과 냉각탑 토출면, 냉각탑 유입면에서 정의될 수 있으며, 이를 Table 3에 나타내었다. 본 연구에서는 외기풍향 및 풍속에 의한 옥상설치 냉각탑의 재유입률을 예측하기 위하여 서측면에서 5 m/s의 외기유입조건 및 남측면에서 5 m/s의 외기유입조건 등의 2가지 외기풍향조건을 고려하였으며 풍속은 5 m/s로 동일하게 부여하였다. 서측 및 남측의 풍향을 고려한 이유는 우리나라의 경우 여름철 대부분의 풍향이 남서풍이기 때문이다. 또한 외기풍속 5 m/s는 기상자료에서 얻은 자료를 바탕으로 고도와 풍속과 관계식[10]을 적용하여 도출된 것이다. 외기온도 및 절대습도는 설계조건인 건구온도 32℃와 습구온도 27℃를 기준으로 부여하였다. 옥상기류의 건구온도 및 절대습도는 설계제원으로부터 각각 31℃ 및 0.021084 kg/kgDA를 부여하였다. 냉각탑 토출면에서는 설계제원인 질량유량 41.65 kg/s, 건구온도 35.8℃ 및 절대습도 0.0385 kg/kgDA인 공기가 토출되고 유입면에서는 질량유량 41.65 kg/s인 공기가 유입된다고 가정하였다.

5. 결과 및 고찰

본 연구에서는 냉각탑이 배치된 옥상의 외벽형상에 따라 유리외벽 인접 냉각탑과 루버외벽 인접 냉각탑으로 구분하여 냉각탑열별 재유입률을 나타내었고, 재유입현상에 관한 외기도입용 루버의 영향을 살펴보기 위해 유리외벽 인접 냉각탑과 루버외벽 인접 냉각탑의 총 평균 재유입률을 비교하였다. 그에 앞서 옥상기류 속도벡터 및 토출공기 패스라인을 도시하여 옥상기류와 토출공기유동을 살펴보았다.

5.1 유리외벽 인접 냉각탑열별 평균 재유입률

5.1.1 서풍 5 m/s

옥상기류가 서풍 5 m/s인 경우 속도벡터, 토출공기 패스라인 및 냉각탑열별 평균 재유입률을 각각 Fig. 6의 (a), (b) 및 (c)에 나타내었다. 그림에서 옥상기류 속도벡터를 살펴보면 서쪽에서 동쪽으로 기류가 흐름을 확인할 수 있고 냉각탑 토출

Table 3 Boundary conditions for the present study

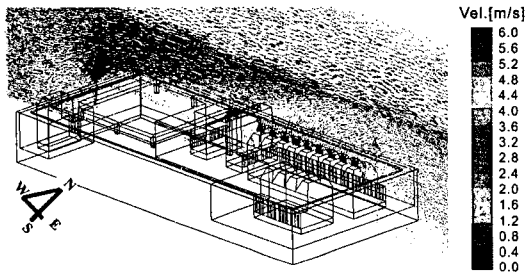
Location	Conditions	
	West wind; v_o =5.0 m/s	South wind; v_o =5.0 m/s
Top face	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$	
Bottom face	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$	
Eastern face	P_s=101315 Pa	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$
Western face	v_o=5.0 m/s, T_o=31℃, x_o=0.021084 kg/kgDA	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$
Southern face	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$	v_o=5.0 m/s, T_o=31℃ x_o=0.021084 kg/kgDA
Northern face	$\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$	P_s=101315 Pa
Discharge air outlet face	$G_{a,d}$=41.65 kg/s, $T_{a,out}$=35.8℃, $x_{a,out}$=0.0385 kg/kgDA	
Entering air inlet face	$G_{a,d}$=41.65 kg/s, $\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i}=0$	
Walls	$u=v=w=0$	

공기는 기류의 영향으로 동쪽으로 유동방향이 바뀌게 되는 경향이 나타난다. 토출공기의 유동을 패스라인으로 살펴보면 냉각탑NE열에서 재유입 현상이 가장 왕성하게 발생하고 있다. 이것은 냉각탑NW열의 토출공기가 유동방향이 동쪽으로 꺾이면서 냉각탑NW열 유입구로 재유입되기 때문이다. 또한 냉각탑NE열 냉각탑 유입구로 충분한 외기가 공급되지 못하여 동일 냉각탑열에서 토출된 공기가 재순환 및 간섭에 의해 재유입되는 현상이 발생한다.

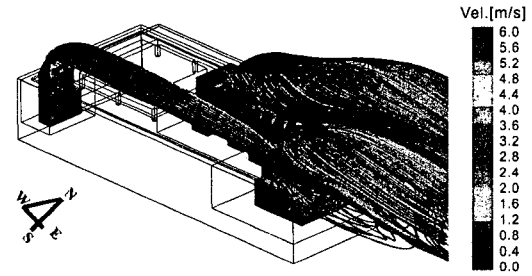
냉각탑열별 평균 재유입률을 Fig. 6(c)에서 살펴보면 토출공기 패스라인을 통해 가장 재유입현상이 많이 발생할 것으로 예측하였던 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 19.2%로 나타났으며 냉각탑S열 및 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 각각 6.0% 및 6.9%로 나타났다.

5.1.2 남풍 5 m/s

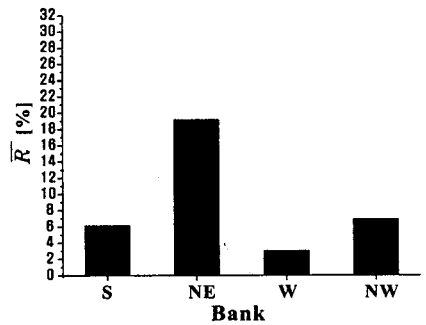
옥상기류가 남풍 5 m/s인 경우 속도벡터, 토출공기 패스라인 및 냉각탑열별 평균 재유입률을 각각 Fig. 7의 (a), (b) 및 (c)에 나타내었다. 옥상기류 속도벡터를 살펴보면 남쪽에서 북쪽으로 기류



(a) Velocity vectors

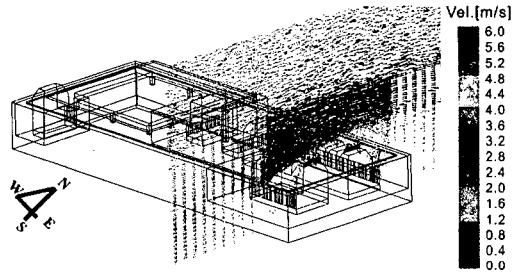


(b) Pathlines of discharge air

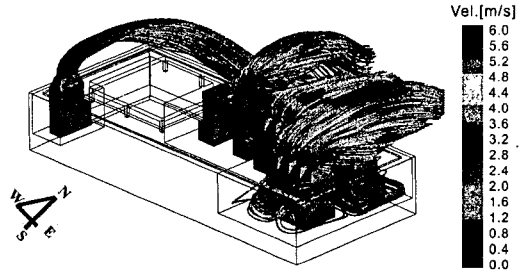


(c) Reentering ratio of the banks

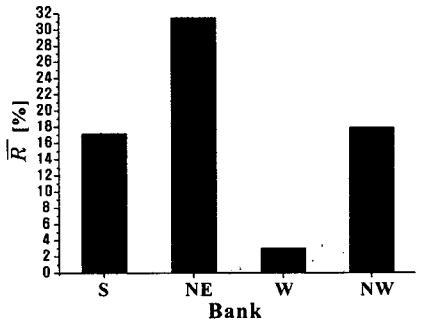
Fig. 6 Velocity vectors, pathlines and reentering ratio of discharge air with west wind of 5 m/s in the case of the curtain wall.



(a) Velocity vectors of air flow



(b) Pathlines of discharge air



(c) Reentering ratio of the banks

Fig. 7 Velocity vectors, pathlines and reentering ratio of discharge air with south wind of 5 m/s in the case of the curtain wall.

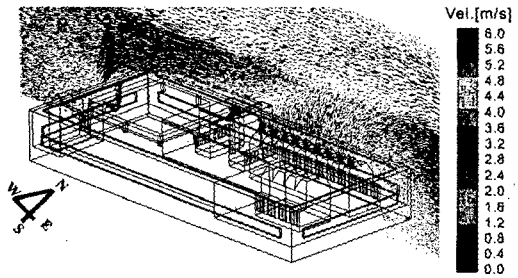
가 흐름을 확인할 수 있고 냉각탑 토출공기는 기류의 영향으로 북쪽으로 유동방향이 바뀌게 되는 경향이 나타난다. 토출공기유동을 패스라인으로 살펴보면 냉각탑S열, 냉각탑NE열 및 냉각탑NW열에서 재유입현상이 발생하는 것으로 예측되었다. 냉각탑S열의 토출공기가 옥상하부로 유도되어 일부는 냉각탑S열로, 일부는 냉각탑NE열로 재유입되고 있다. 특히 냉각탑NE열의 토출공기는 유동방향이 유입구 쪽으로 바뀌면서 재유입되는 현상을 볼 수 있다. 냉각탑NW열 토출공기 또한 동일 냉각탑의 동쪽 유입구로 재유입되고 있다.

냉각탑열별 평균 재유입률을 Fig. 7(c)에서 살펴보면 재유입현상이 가장 많이 발생할 것으로 예측하였던 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 31.5%로 나타났고 냉각탑S열 및 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 각각 17.2% 및 17.9%로 예측되었다.

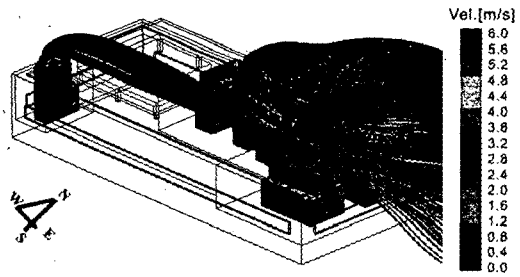
5.2 루버외벽 인접 냉각탑열별 평균 재유입률

5.2.1 서풍 5 m/s

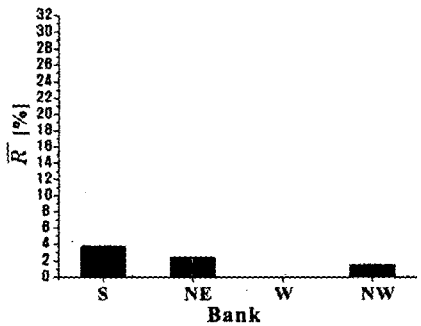
옥상기류가 서풍 5 m/s인 경우 속도벡터, 토출공기 패스라인 및 냉각탑열별 평균 재유입률을 각



(a) Velocity vectors of air flow

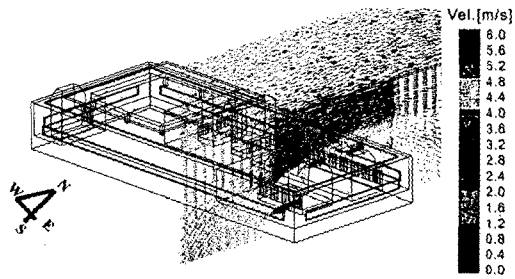


(b) Pathlines of discharge air

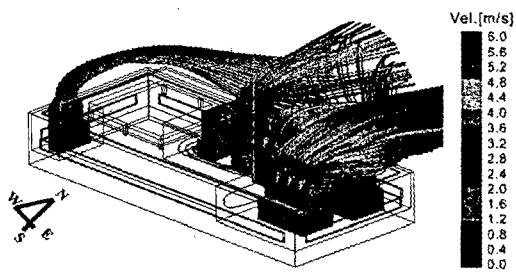


(c) Reentering ratio of the banks

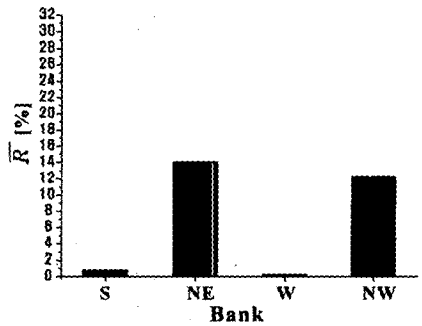
Fig. 8 Velocity vectors, pathlines and reentering ratio of discharge air with west wind of 5 m/s in the case of the louver wall.



(a) Velocity vectors of air flow



(b) Pathlines of discharge air



(c) Reentering ratio of the banks

Fig. 9 Velocity vectors, pathlines and reentering ratio of discharge air with south wind of 5 m/s in the case of the louver wall.

각 Fig. 8의 (a), (b) 및 (c)에 나타내었다. 옥상기류 속도벡터는 유리외벽 옥상과 유사한 경향을 보이고 있으나 루버를 통해 외기가 유입되고 있음을 볼 수 있다. 토출공기유동을 패스라인으로 살펴보면 냉각탑NE열에서 가장 왕성하게 발생하였던 재유입현상이 많이 저감된 것을 볼 수 있다. 이것은 루버를 통해 원활하게 외기가 공급되기 때문으로 사료된다.

냉각탑열별 평균 재유입률을 Fig. 8(c)에서 살펴보면, 냉각탑 토출공기 패스라인을 통해 재유입현상이 많이 저감된 것으로 예측되었던 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 2.4%로 나타났고 냉각탑S열 및 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 각각 3.7% 및 1.5%로 나타났다.

5.2.2 남풍 5 m/s

옥상기류가 남풍 5 m/s인 경우 속도벡터, 토출공기 패스라인 및 냉각탑열별 평균 재유입률을 각각 Fig. 9의 (a), (b) 및 (c)에 나타내었다. 옥상기류 속도벡터는 기존설계안과 유사한 경향을 보이고 있으나 각 유리외벽에 설치된 루버를 통해 외기가 유입되고 있음을 볼 수 있다. 토출공기유동을 패스라인으로 살펴보면 대부분 냉각탑열에서 왕성하게 발생하였던 재유입현상이 많이 저감된 것을 알 수 있다. 이것은 루버를 통해 원활하게 외기가 공급되고 있어 토출공기의 재유입이 감소되었기 때문으로 사료된다.

냉각탑열별 평균 재유입률을 Fig. 9(c)에서 살펴보면 냉각탑 토출공기 패스라인을 통해 재유입현상이 많이 저감된 것으로 예측되었던 대부분의 냉각탑열의 평균 재유입률이 14.1%로 나타났고 냉각탑S열 및 냉각탑NW열의 평균 재유입률이 각각 0.8% 및 12.4%로 나타났다.

5.3 외벽형상에 따른 냉각탑 총 평균 재유입률

외벽형상에 따라 구분한 유리외벽 인접 냉각탑과 루버외벽 인접 냉각탑 총 평균 재유입률을 각각 Fig. 10에 도시하였다.

옥상기류가 서풍 5 m/s인 경우 총 평균 재유입률은 유리외벽 인접 냉각탑 및 루버외벽 인접 냉각탑의 경우 각각 13.3%, 2.5%로 예측되었다. 한편 옥상기류가 남풍 5 m/s인 경우 총 평균 재유입률은 유리외벽 인접 냉각탑의 경우 24.4%, 루버외벽 인접 냉각탑인 경우 9.7%로 예측되었다.

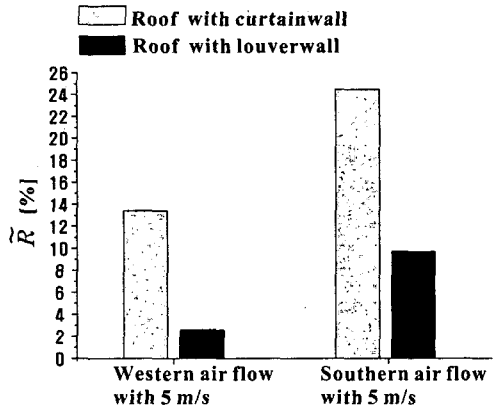


Fig. 10 Averaged reentering ratio of the cooling towers accoring to the roofwall types.

옥상기류가 서풍 5 m/s 및 남풍 5 m/s인 경우 모두 루버외벽 인접 냉각탑의 경우 총 평균 재유입률이 낮게 나타나 재유입현상의 발생이 적을 것으로 예측되었다. 따라서 유리외벽에 루버가 설치된 루버외벽은 재유입현상 발생을 감소시킬 방안으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 건물옥상에 설치될 총 16대의 냉각탑을 연구모델로 선정하여 여름철 주풍향 및 풍속을 고려하여 냉각탑별 재유입률을 이론해석을 통하여 예측하였다. 옥상외형을 외기도입용 루버 설치 여부에 따라 유리외벽 인접 냉각탑과 루버외벽 인접 냉각탑으로 구분하여 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유리외벽 인접 냉각탑의 경우 옥상기류가 서풍 및 남풍 5 m/s일 때 냉각탑 총 평균 재유입률은 각각 13.3% 및 24.4%로 예측되었다. 따라서 이를 감소시킬 방안의 도출이 요구된다.

(2) 유리외벽에 외벽 전체 면적의 30%에 해당하는 136 m^2의 외기도입용 루버를 설치한 루버외벽 인접 냉각탑의 경우 옥상기류가 서풍 및 남풍 5 m/s일 때 냉각탑 총 평균 재유입률은 각각 2.5 % 및 9.7%로 예측되었다. 따라서 루버외벽이 재유입현상 발생을 감소시킬 방안으로 사료된다.

참고문헌

1. Yoon, J. H., 2003, The method of performance test and state of the equipment construction of the cooling tower, The Magazine of the SAREK, Vol. 32, No. 12, pp. 45-52.
2. Kwan, O. I., 2003, The method of improvement for the performance of existing cooling towers, The Magazine of the SAREK, Vol. 32, No. 12, pp. 38-45.
3. Kim, B. J. and Choi, Y. K., 2003, A numerical study on the performance analysis of plume abatement cooling tower with dry type heat exchanger, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 12, pp. 1018-1027.
4. Lee, K. H., Choi, Y. Y., Lee, J. H. and Soh, H. Y., 1998, Thermal performance of a counterflow cooling tower with various shape of packings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 358-367.
5. Lee, H. C., Bang, K. H. and Kim, M. H., 1998, Experimental study on the thermal performance of a cooing tower, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, No. 1, pp. 88-94.
6. Chan, T. L., Hsu, S. T., Lind, J. T. and Hsu, K. H., 1974, Plume recirculation and interference in mechanical draft cooling towers, IIHR Report No. 160, Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa City, Iowa.
7. Moore, R. D., Wheeler, D. E., Wilber, K. R. and Johson, A. E., 1979, An evaluation of schemes for the prediction of recirculation on crossflow rectangular mechanical draft cooling towers, TP79-09, Cooling Tower Institute, Houston, Texas.
8. Partankar, S. V., 1980, Numerical Heat and Fluid Flow, McGraw-Hill, New York.
9. Wilcox, D. C., 1993, Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, Inc.
10. Im, K. J. and Hong, K. D., 1995, Study on Highrise Buildings-Mechanical Engineering Part, Report of Daerim Inc. and Seoul National University, pp. 229-270.